

Влияние энергетических параметров фемтосекундного лазера на формирование непрозрачного пузырькового слоя при лентикулярной коррекции миопии

Эрнест Витальевич Бойко¹, Алексей Валерьевич Титов², Дилара Равилевна Мирсаитова³✉

^{1,2,3} Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург, Россия

¹ Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Проведено обследование и лечение 193 пациентов с миопией разной степени. Выявлены ведущие факторы возникновения непрозрачного пузырькового слоя (НПС) при коррекции миопии по технологии SMILE: энергия, сферический компонент и центральная толщина роговицы. Разработана формула для вычисления вероятности возникновения НПС, позволяющая снизить и предсказать частоту возникновения данного интраоперационного феномена.

Ключевые слова: лентикулярная коррекция зрения, SMILE, миопия, непрозрачный пузырьковый слой, энергия фемтосекундного лазера

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2023-20-3-56-61>

Influence of energy parameters of a femtosecond laser on the formation of an opaque bubble layer during lenticular correction of myopia

Ernest V. Boyko¹, Alexey V. Titov², Dilara R. Mirsaitova³✉

^{1,2,3} Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, St. Petersburg Branch, St. Petersburg, Russia

¹ I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University, Saint Petersburg, Russia

¹ S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

Abstract. 193 patients with myopia of varying degrees were examined and treated. The leading factors for the appearance of an opaque bubble layer (OBL) during myopia correction using the SMILE technology were identified: femtosecond laser energy, the spherical component and the central thickness of the cornea. A formula has been developed for calculating the probability of occurrence of OBL, which makes it possible to reduce and predict the incidence of this intraoperative complication.

Keywords: lenticular vision correction, SMILE, myopia, Opaque Bubble Layer (OBL), femtosecond laser energy

Лентикулярная хирургия коррекции миопической аномалии рефракции в настоящее время занимает одно из ведущих мест в лазерной коррекции зрения, так как имеет ряд преимуществ, которые хорошо известны и описаны [1, 2, 3, 4]. В то же время технология может сопровождаться развитием ряда интраоперационных феноменов, связанных с множеством параметров, которые необходимо учесть, в том числе и при настройке программы фемтосекундного лазера (ФСЛ). Неправильный подбор технических параметров может увеличивать риски развития интраоперационных осложнений, таких как образование непрозрачного пузырькового слоя (НПС) [5, 6, 7].

Непрозрачный пузырьковый слой – интраоперационное осложнение, возникающее на этапе работы ФСЛ и характеризующееся скоплением пузырьков газа

в интрароговичном пространстве с распространением в строму роговицы. Время сохранения НПС составляет от 30 с до 45 мин, встречается от 0,7 до 51,8 %, в то же время большинство исследователей отмечают возникновение НПС только в 5,8–12,6 % случаев [7, 8, 9]. Возникновение НПС вызывает ухудшение визуализации и трудности в выделении лентикулы из-за сохранения межклеточных мостиков, которые в свою очередь могут привести к формированию неравномерных поверхностей лентикулы и интрастромального ложа, что является причиной астигматизма и увеличения аберрации высшего порядка [9]. Согласно данным литературы, факторы риска развития НПС можно разделить на две группы: связанные с параметрами роговицы и связанные с энергетическими параметрами лазера [7, 8, 9, 10].

Данное клиническое исследование направлено на изучение и количественную оценку влияния различных энергетических параметров ФСЛ на риски развития НПС в лентикулярной коррекции миопии по технологии SMILE.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить влияние различных энергетических параметров ФСЛ на риски развития непрозрачного пузырькового слоя в лентикулярной коррекции миопии по технологии SMILE.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В клиническом исследовании (нерандомизированное, ретро- и проспективное) приняло участие 193 пациента (288 глаз) в возрасте от 18 до 40 лет, которым проведена коррекция зрения по технологии SMILE с использованием ФСЛ Visumax (Carl Zeiss, Германия), 107 женщин и 86 мужчин. Пациенты были разделены на 3 основные группы в зависимости от уровня применяемой энергии ФСЛ: 130 нДж (индекс энергии 26), 140 нДж (индекс энергии 28) и 150 нДж (индекс энергии 30) с подразделением на слабую, среднюю и высокую степени миопии.

Критерии включения: планируемая лентикулярная лазерная коррекция стабилизированной миопии разной степени, в ряде случаев с миопическим астигматизмом (до -1,5 дптр); возраст от 18 до 40 лет; толщина роговицы не менее 500 мкм; максимально корригуемая острота зрения 1,0 и выше.

Критерии исключения из исследования: конъюнктивит, кератит, глаукома, катаракта, заболевания век, выраженный синдром сухого глаза, кератоконус и любая другая патология, являющаяся противопоказанием для проведения рефракционной операции. Всем пациентам до и после операции выполняли стандартное офтальмологическое обследование (авторефрактометрия, визометрия, пневмометрия, биомикроскопия, офтальмоскопия, кератотопография, пахиметрия).

Оценку НПС осуществляли интраоперационно и на основании видео- и фотоснимков, полученных во время операции. Классификация различных видов НПС, разработанная L. Lee и соавт., представлена на рис. 1 в зависимости от расположения от края роговичной лентикулы на этапе формирования задней плоскости роговичной лентикулы: 0,5 мм (а), 0,5–1,0 мм (б), 1–1,5 мм (в), более 1,5 мм (г) от края лентикулы вовнутрь. На передней плоскости роговичной лентикулы НПС классифицировался как центральный (а) или диффузный (б) (рис. 2).

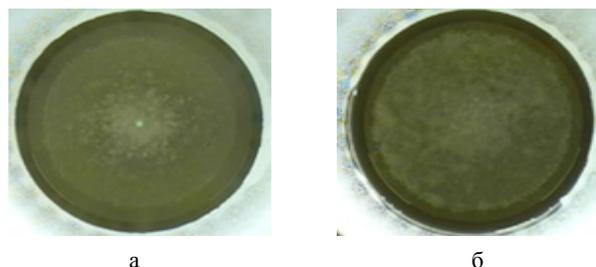


Рис. 2. НПС на передней поверхности роговичной лентикулы

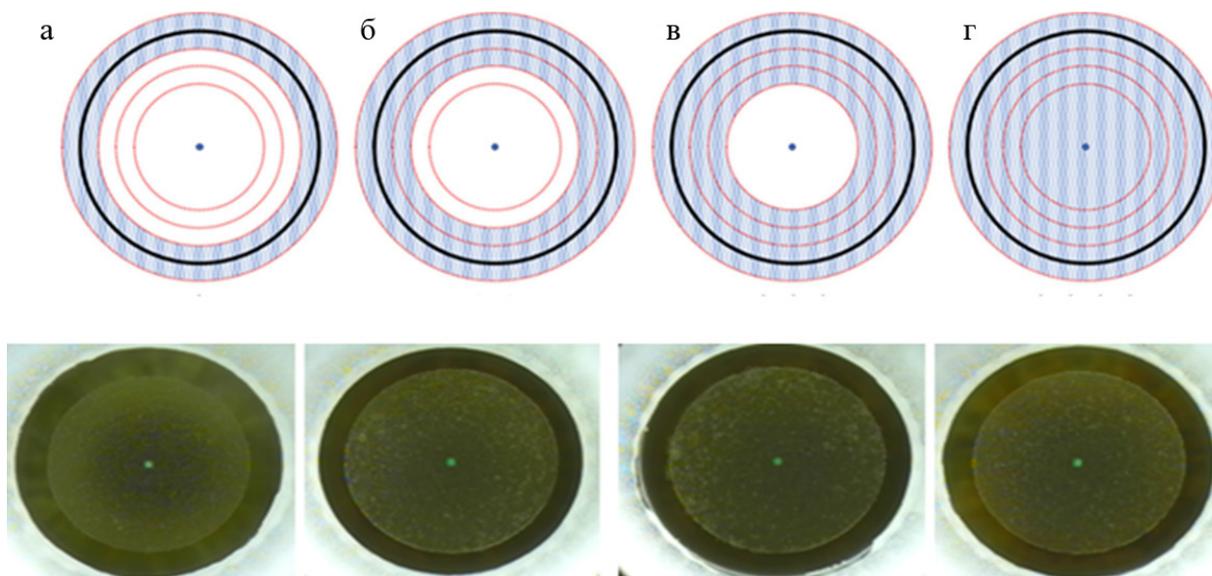


Рис. 1. Классификация различных видов НПС на задней поверхности роговичной лентикулы (описание в тексте)

Показатели, полученные в ходе клинического исследования, были внесены в базу данных Microsoft Excel. Статистическую обработку результатов выполня-

ли с помощью непараметрических и параметрических статистических критериев с применением программы Statistica 10.0, версия 10.0 (StatSoft, Inc., США).

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Дооперационные характеристики исследуемых групп представлены в табл. 1.

На основе анализа клинико-функциональных данных установлено, что скорость восстановления НКОЗ в ранние сроки после операции (первые сутки) в группах со слабой и средней степенью миопии при использовании энергии в диапазоне 130 нДж выше, чем при применении более высоких показателей энергии ФСЛ. А в подгруппах с высокой степенью миопии более высокие показатели НКОЗ по-

лучены при применении энергии ФСЛ в диапазоне 140 нДж (табл. 2). В последующие сроки наблюдений показатели НКОЗ не имели статистически достоверных различий.

На основе анализа интраоперационных снимков проспективной части исследования (группы с энергией ФСЛ в диапазоне 130–140 нДж) НПС зарегистрирован в 48 случаях из 190 исследуемых глаз (25,3 %), в исследуемой группе с энергией ФСЛ в диапазоне 130 нДж зарегистрировано 5 случаев (2,63 %) возникновения НПС, в группе с уровнем энергии в диапазоне 140 нДж – 43 случая (22,63 %).

Таблица 1

Дооперационные характеристики исследуемых групп

Показатель, М ± s Me(Q25;Q75)	Степень	130 нДж	140 нДж	150 нДж	P
НКОЗ	1 (слабая)	0,15 ± 0,07 0,20(0,10;0,20)/29	0,15 ± 0,08 0,10(0,09;0,20)/29	0,12 ± 0,07 0,09(0,08;0,20)/32	0,07
	2 (средняя)	0,05 ± 0,00 0,05(0,05;0,05)/36	0,05 ± 0,00 0,05(0,05;0,05)/36	0,05 ± 0,00 0,05(0,05;0,05)/36	0,53
	3 (высокая)	0,04 ± 0,01 0,04(0,03;0,04)/30	0,03 ± 0,01 0,04(0,03;0,04)/30	0,04 ± 0,01 0,04(0,03;0,05)/30	0,236
SPh, D	1 (слабая)	-1,88 ± 0,55 -1,75(-2,25;-1,50)/29	-1,98 ± 0,63 -2,00(-2,25;-1,50)/29	-2,05 ± 0,66 -2,00(-2,63;-1,63)/32	0,56
	2 (средняя)	-4,17 ± 0,88 -4,25(-4,75;-3,50)/36	-4,26 ± 0,85 -4,25(-4,63;-3,63)/36	-4,31 ± 0,80 -4,25(-4,88;-3,75)/36	0,72
	3 (высокая)	-7,54 ± 1,10 -7,13(-8,00;-6,75)/30	-7,51 ± 1,08 -7,25(-8,00;-6,75)/30	-7,33 ± 1,04 -7,25(-8,00;-6,50)/30	0,72
Cyl, D	1 (слабая)	-0,31 ± 0,37 -0,50(-0,50;0,00)/29	-0,38 ± 0,31 -0,50(-0,50;0,00)/29	-0,36 ± 0,30 -0,50(-0,50;0,00)/32	0,81
	2 (средняя)	-0,51 ± 0,27 -0,50(-0,75;-0,50)/36	-0,37 ± 0,30 -0,38(-0,50;0,00)/36	-0,46 ± 0,36 -0,50(-0,75;-0,03)/36	0,14
	3 (высокая)	-0,40 ± 0,54 -0,38(-0,75;0,00)/30	-0,48 ± 0,47 -0,50(-0,75;0,00)/30	-0,54 ± 0,40 -0,63(-1,00;0,00)/30	0,43
МКОЗ	1 (слабая)	1,01 ± 0,04 1,00(1,00;1,00)/29	1,01 ± 0,04 1,00(1,00;1,00)/29	1,01 ± 0,05 1,00(1,00;1,00)/32	0,86
	2 (средняя)	1,01 ± 0,03 1,00(1,00;1,00)/36	1,01 ± 0,03 1,00(1,00;1,00)/36	1,00 ± 0,00 1,00(1,00;1,00)/36	0,60
	3 (высокая)	1,00 ± 0,00 1,00(1,00;1,00)/30	1,00 ± 0,00 1,00(1,00;1,00)/30	1,00 ± 0,00 1,00(1,00;1,00)/30	1,0

Таблица 2

Показатели НКОЗ после SMILE в первый день после операции

Показатель, М ± s Me (Q25;Q75)	Степень	Энергия 26 (130 нДж) n = 95	Энергия 28 (140 нДж) n = 95	Энергия 30 (150 нДж) n = 166	P
1-й день	1	0,94 ± 0,12 1,00(0,90;1,00)/29	0,89 ± 0,16 1,00(0,80;1,00)/29	0,84 ± 0,14 0,80(0,73;1,00)/32	P = 0,012 P26,28 = 0,99 P26,30 = 0,023 P28,30 = 0,283
	2	0,93 ± 0,09 0,95(0,90;1,00)/36	0,88 ± 0,14 0,93(0,80;1,00)/36	0,83 ± 0,12 0,80(0,70;1,00)/36	P = 0,068 P26,28 = 0,581 P26,30 = 0,007 P28,30 = 0,245
	3	0,85 ± 0,15 0,88(0,75;1,00)/30	0,88 ± 0,12 0,90(0,80;1,00)/30	0,76 ± 0,14 0,70(0,60;0,80)/30	P

Распределение НПС в зависимости от этапа возникновения (на задней или передней плоскостях) представлено в табл. 3.

Таблица 3

Распределение НПС в исследуемых группах

Вид	№ (%)
<i>Задняя поверхность роговичной линтикулы – 1-й этап</i>	
0,5 мм	1 (4,54)
0,5–1,0 мм	6 (27,27)
1,0–1,5 мм	13 (59,09)
более 1,5 мм	2 (9,1)
<i>Передняя поверхность роговичной линтикулы – 2-й этап</i>	
Центральный	20 (76,92)
Диффузный	6 (23,08)

Анализ влияния НПС на НКОЗ в раннем послеоперационном периоде показал наличие достоверных различий у пациентов с исходно слабой степенью миопии: в первый день после операции у пациентов с наличием НПС лишь 8 человек (44,4 %) достигли НКОЗ $\geq 1,00$, в группе без НПС – 30 (75,0 %). Группы по НПС значимо различались, в группе без НПС было значимо больше достигших НКОЗ $\geq 1,00$, чем в группе с данным интраоперационным феноменом ($p = 0,023$). Через 1 неделю и 1 месяц в группе с исходно слабой степенью миопии показатели НКОЗ значимо не различались ($p = 0,09$, $p = 0,15$). Пациенты с миопией средней и высокой степенью миопии имели тенденцию к более высоким показателям НКОЗ после операции при отсутствии НПС, однако статистически достоверных различий между группами выявлено не было.

Вероятность наступления НПС по методу бинарной логистической регрессии вычислялась по формуле:

$$P = 1 / (1 + e^z),$$

где P – вероятность НПС у пациента, e – основание натурального логарифма, z – логит ($Z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$, где b_0 – константа; b_1, b_2, b_n – коэффициент регрессии, X_1, X_2, X_n – значение независимых переменных / предикторы).

В качестве предикторов рассматривались следующие показатели: возраст, пол, сферический показатель рефракции, цилиндрический показатель рефракции, центральная толщина роговицы, средняя энергия ФСЛ.

Значимыми предикторами исследования оказались (по данным ROC-анализа): энергия ФСЛ, выраженная в индексах энергии, – 1 индекс, равный 5 нДж ($p < 0,0001$, $AUC = 0,765$), степень миопии ($p = 0,022$, $AUC = 0,389$), центральная толщина роговицы (ССТ, $p < 0,0001$, $AUC = 0,78$).

Таким образом, была получена формула для вычисления вероятности наступления НПС ($P_{\text{НПС}}$):

$$P_{\text{НПС}} = 1 / (1 + 2,72^{-(36,322 + 0,411 \times \text{сфера} + 0,061 \times \text{ССТ} + 4,255 \times \text{Энергия})})$$

Данная модель при стандартном пороге классификации $p = 0,5$ имеет точность – 90,5 %, чувствительность – 75,0 %, специфичность – 95,8 %, $AUC = 0,935$, $p < 0,0001$.

Клинический пример расчета вероятности наступления НПС

Пациент Б. в возрасте 27 лет поступил с диагнозом миопия слабой степени обоих глаз. Рекомендовано проведение лазерной коррекции по технологии SMILE.

Диагностические данные: Визометрия: OD 0,08 sph -2,5 D = 1,00.

Кератопахиметрия: ССТ – 535 мкм.

Индекс уровня энергии фемтосекундного лазера в диапазоне: 30 (150 нДж), 28 (140 нДж) и 26 (130 нДж). Было принято решение перед операцией по методу ReLEx SMILE провести оценку риска развития непрозрачного пузырькового слоя по заявляемому способу. Расчет был произведен по заявляемой формуле:

$$P_{\text{НПС}} = 1 / (1 + 2,72^{-(36,322 + 0,411 \times -2,5 + 0,061 \times 535 + 4,255 \times 30)}).$$

$P_{\text{НПС}} = 0,21$ (21 %) при индексе энергии ФСЛ в диапазоне 30 (150 нДж).

$P_{\text{НПС}} = 0,35$ (35 %) при индексе энергии ФСЛ в диапазоне 28 (140 нДж).

$P_{\text{НПС}} = 0,09$ (9 %) при индексе энергии ФСЛ в диапазоне 26 (130 нДж).

С учетом анализа полученных данных рекомендовано использование индекса энергии 26 (130 нДж) для снижения риска развития интраоперационных осложнений (НПС).

По данным исследований отечественных ученых С.В. Костенева и В.В. Черных, причины НПС кроются в технических регулировках лазера: высокая энергия ФСЛ характеризуется большим размером кавитационных пузырей и выраженной ударной волной. Возникновение НПС при низких энергиях импульса – нечастое явление, при котором образуются маленькие кавитационные пузырьки, что может увеличивать риски развития зон непрорезывания ткани [4].

L. Li и соавт. выявили путем множественного регрессионного анализа, что миопия слабой степени и низкая степень астигматизма являются независимыми факторами риска для формирования НПС, предлагали увеличивать толщину кэпа (CAP), тем самым увеличивая глубину фемтодиссекции [9].

Результаты исследований Y. Wang и соавт. выявили два основных фактора риска НПС – величина остаточной толщины роговицы (ОТР) и толщина роговицы (каждый 1 мкм ОТР увеличивает риск формирования

НПС на 3 %). Courtin R. и соавт. высказывали мнение, что одним из факторов риска появления НПС являются «толстая» роговицы (более 550 мкм) и тонкая лентикла (при миопии слабой степени). Это объясняется авторами более плотным расположением коллагеновых волокон в передней трети роговичной стромы. Другим факторам риска данного осложнения следует отнести параметр энергии импульса лазера. Y. Wang и соавт. показали, что при высокой энергии (от 155 нДж до 160 нДж) частота возникновения НПС больше, чем при низкой [8].

Многие авторы отмечают, что возникновение НПС не влияет на планируемое послеоперационное состояние рефракции, однако выраженный НПС может приводить к перфорации кэпа, что снижает прогнозируемость операции [8, 9]. При этом известны различные способы устранения осложнений, связанных с непрозрачным пузырьковым слоем, а способов оценки вероятности развития непрозрачного пузырькового слоя достаточно мало.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ведущими факторами возникновения непрозрачного пузырькового слоя при коррекции миопии по технологии SMILE являются энергия ФСЛ, сферический компонент и центральная толщина роговицы.

Разработана формула для вычисления вероятности возникновения НПС, которая позволит снизить и предсказать частоту возникновения данного интраоперационного феномена, а также достичь более быстрого восстановления остроты зрения, что подтверждается статистически значимыми различиями между показателями НКОЗ в группах с НПС и без НПС в 1-й день после операции. Высокие энергетические параметры ФСЛ увеличивают риски развития НПС, что приводит к замедлению восстановления остроты зрения в раннем послеоперационном периоде.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бойко Э.В., Мирсайтова Д.Р., Титов А.В., Масын Я.И. Возможности технологии SMILE в коррекции миопической аномалии рефракции. *Современные проблемы науки и образования*. 2021;2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30583>.
2. Клокова О.А., Подтынных Е.В., Гейденрих М.С., Пешкова В.Ю. Субъективная оценка объективных результатов ReLEx SMILE при коррекции сложного миопического астигматизма. *Современные технологии в офтальмологии*. 2015;4:142–146.
3. Клокова О.А., Сахнов С.Н., Пискунов А.В. и др. Качественная оценка результатов операций ReLEx (технология SMILE) на основе контрастной чувствительности. *Современные технологии в офтальмологии*. 2014;3:149–152.
4. Костенев С.В., Черных В.В. Фемтосекундная лазерная хирургия: принципы и применение в офтальмологии. Новосибирск: Наука, 2012. 190 с.
5. Jung H.G., Kim J., Lim T.H. Possible risk factors and clinical effects of an opaque bubble layer created with femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2015;41:1393–1399.

6. Liu C.H., Sun C.C., Huikang M.D. et al. Opaque bubble layer: incidence, risk factors, and clinical relevance. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2014;40:435–440.

7. Son G., Lee J., Jang C. et al. Possible risk factors and clinical effects of opaque bubble layer in small incision lenticule extraction (SMILE). *Journal of Refractive Surgery*. 2017;33(1):24–29. doi: 10.3928/1081597X-20161006-06.

8. Ma J., Wang Y., Li L., Zhang J. Corneal thickness, residual stromal thickness, and its effect on opaque bubble layer in small-incision lenticule extraction. *International Ophthalmology*. 2018;5(38):2013–2020.

9. Li L., Schallhorn J.M., Ma J. Risk factors of opaque bubble layer in small incision lenticule extraction (SMILE). *Journal of Refractive Surgery*. 2017; 33(11):759–764. doi: 10.3928/1081597X-20170821-02.

10. Reinstein D.Z. Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) in 2015. *US Ophthalmic Review*. 2015;1(8):30–32.

REFERENCES

1. Bojko E.V., Mirsaitova D.R., Titov A.V., Masyan Ya.I. Possibilities of SMILE technology in the correction of myopic refractive error. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2021;2. (In Russ.) URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30583>.
2. Klokova O.A., Podtynnyh E.V., Gejdenrih M.S., Peshkova V.Yu. Subjective evaluation of objective results ReLEx SMILE for correction complex myopic astigmatism. *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii = Modern technologies in ophthalmology*. 2015;4:142–146. (In Russ.).
3. Klokova O.A., Sahnov S.N., Piskunov A.V. et al. Quality evaluation of result ReLEx SMILE in terms of contrast sensitivity. *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii = Modern technologies in ophthalmology*. 2014;3:149–152. (In Russ.).
4. Kostenev S.V., Chernyh V.V. Femtosecond laser surgery: principles and applications in ophthalmology. Novosibirsk; Nauka, 2012. 190 p. (In Russ.).
5. Jung H.G., Kim J., Lim T.H. Possible risk factors and clinical effects of an opaque bubble layer created with femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2015;41:1393–1399.
6. Liu C.H., Sun C.C., Huikang M.D. et al. Opaque bubble layer: incidence, risk factors, and clinical relevance. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2014;40:435–440.
7. Son G., Lee J., Jang C. et al. Possible risk factors and clinical effects of opaque bubble layer in small incision lenticule extraction (SMILE). *Journal of Refractive Surgery*. 2017;33(1):24–29. doi: 10.3928/1081597X-20161006-06.
8. Ma J., Wang Y., Li L., Zhang J. Corneal thickness, residual stromal thickness, and its effect on opaque bubble layer in small-incision lenticule extraction. *International Ophthalmology*. 2018;5(38):2013–2020.
9. Li L., Schallhorn J.M., Ma J. Risk factors of opaque bubble layer in small incision lenticule extraction (SMILE). *Journal of Refractive Surgery*. 2017;33(11):759–764. doi: 10.3928/1081597X-20170821-02.
10. Reinstein D.Z. Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) in 2015. *US Ophthalmic Review*. 2015;1(8):30–32.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информация об авторах

Э.В. Бойко – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач РФ, член-корреспондент Военно-медицинской академии, директор, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург, Россия; pochta@mntk.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

А.В. Титов – врач-офтальмолог высшей категории, член Европейского общества катарактальных и рефракционных хирургов (ESCRS), заведующий отделением рефракционной хирургии и патологии роговицы, руководитель глазного тканевого банка, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург, Россия; mr.titov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6847-4737>

Д.Р. Мирсаитова – врач-офтальмолог отделения рефракционной хирургии и патологии роговицы, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург, Россия; [✉ dilara_mirsaitova@rambler.ru](mailto:dilara_mirsaitova@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8825-312X>

Статья поступила в редакцию 25.04.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 14.08.2023.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Information about the authors

E.V. Boyko – Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, Corresponding Member of the Military Medical Academy, Director, Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, St. Petersburg Branch, St. Petersburg, Russia; pochta@mntk.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

A.V. Titov – ophthalmologist of the highest category, member of the European Society of Cataract and Refractive Surgeons (ESCRS), Head of the Department of Refractive Surgery and Corneal Pathology, Head of the Ocular Tissue Bank, Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, St. Petersburg Branch, St. Petersburg, Russia; mr.titov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6847-4737>

D.R. Mirsaitova – ophthalmologist Department of refractive surgery and corneal pathology, eye microsurgery named after academician S. N. Fedorov, St. Petersburg branch, St. Petersburg, Russia; [✉ dilara_mirsaitova@rambler.ru](mailto:dilara_mirsaitova@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8825-312X>

The article was submitted 25.04.2023; approved after reviewing 15.06.2023; accepted for publication 14.08.2023.